

依巴羅斯天文測量衛星

邱惠玲

國立臺灣師範大學 地球科學研究所

自天文學發展至今，仍有許多問題沒有解決或是誤差極大。最根本的原因就是天體的距離測量不夠準，衍生出其他測量或計算出的數據 - 包括恆星大小、運動、動力學資訊 - 也跟著出問題。所有專注於此的人都知道，一旦距離的問題不解決，天文學的進展勢必遲滯，甚至越錯越多。

基於這些考量，不同領域的天文學家擁有的共識：取得更精準的恆星距離數值。依巴羅斯計劃可以說是邁向精準宇宙的重要里程碑。

依巴羅斯天文測量衛星全名 High Precision Parallax Collecting Satellite，簡稱 Hipparcos，是第一顆在太空中觀測恆星距離和運動參數的天文衛星。依巴羅斯計劃是歐洲天文總署在 1980 年接下的計劃，衛星在 1989 年升空觀測，觀測時間從 1989 到 1993 年共三年多，取回了許多高品質的資料：主要是恆星的位置、自行、三角視差，另外還有天體測量上所需的五個重要參數。

依巴羅斯衛星可以測得精準資料的原因是：從它在太空中所在的位置可以觀測到整個天球，扣除了大氣的擾動，加上儀器本身的穩定性，使得依巴羅斯衛星可以測出兩個不同方向極小的角度差，當然，測出的視差角就很小，除此之外，作為銀河系外星系參考系統的資料，其位置和自行是國際天文聯

合會（簡稱 IAU）由無線電波源定出來的，所以一般相信依巴羅斯衛星的系統誤差值可以降到萬分之一到萬分之二角秒以下。不過由於依巴羅斯計劃中觀測的恆星多達一百萬顆以上，所有數據都必須一起在電腦中處理，使得資料一直到 1996 年 8 月才整理完畢，1997 年資料集結成冊正式出版 - 依巴羅斯與第谷星表（The Hipparcos and Tycho Catalogues）；結合第谷星表（Tycho Catalogues）和地面觀測資料在 2000 年二月另外整理出版恆星總數兩百五十萬多顆的第谷二星表（Tycho-2 Catalogues），提供學者做更多的判斷和研究。

根據測定恆星位置、距離的需求，依巴羅斯的設計是相當特別的，它並不是一個影像衛星，由一個口徑 29 公分、焦距 140 公分的史密特反射式望遠鏡為中心，其他裝備圍繞著它。擁有兩個鏡面，彼此夾角 58 度，每一個鏡面都是 1.9 度見方。它可以將兩個方向的光線聚在一個焦平面上，同時測量兩個不同的視野中恆星的角距。

依巴羅斯衛星故意設計讓它轉動得很慢，轉軸和太陽方向夾角 43 度，而且可以在控制下緩慢而連續的改變。完整自轉一圈要兩小時八分、進動週期 8 星期。這樣的設計是為了讓每一個區域都掃到好幾次。當衛星慢慢掃過天球的時候，恆星發出的光會通過

位於焦平面上的平行狹縫系統，使星光在經狹縫時產生閃爍，然後光線再透過接收器。不過因為接收器感光的面積不大，直徑只有 38 角秒，同一個時間只能追蹤同一顆星。望遠鏡上面還有裝載著一個控制用電腦，只要花二十秒就可以快速的把目標轉換到通過視野的星星上。此外，因為第谷任務所需，還裝有光度計，可以得到星體的 B 和 V (Johnson B & V) 兩種波段的星等。

這個天文觀測衛星不是影像衛星，我們怎麼知道它量的東西對不對？準不準？依巴羅斯衛星上裝載著兩個星表，依照目標分成：依巴羅斯輸入星表 (Hipparcos Input Catalogue) 和第谷輸入星表 (Tycho Input Catalogue)。各有負責確認和收集資料的工作團隊，將地面觀測的資料彙整，輸入電腦中，定義每顆目標星的依巴羅斯編號或是第谷編號，與後來出版的星表中的編號是一致的，觀測之後發現有一些是雙星系統，為了資料的一致性和完整性，並沒有改變或增減它們的編號，那我們就可以用這種如同星星的身分證一般的 HIP 和 TYC 編號找到資料並登錄下來。事實上，依巴羅斯衛星也是依照依巴羅斯輸入星表和第谷輸入星表的資料在運作的。

	依巴羅斯	第谷
目標星總數	118218	1058332
V 極限星等	約 12.4 星等	約 11.5 星等
天文測量精確度	<0.001 角秒	0.025 角秒
測量時的系統誤差	<0.0001 角秒	<0.001 角秒
光度精確度	0.0015 星等(比 9 星等亮的星)	0.012 星等(比 9 星等亮的星) 0.06 星等(大部分的恆星)

依巴羅斯輸入星表及第谷輸入星表對於這顆衛星來說就像地圖一樣。在緩慢的轉動中可以掃到一個帶狀區域的星星，再經由自轉軸的進動和衛星公轉，掃完整個天球。當目標星在其中一個視野出現時，衛星會載入星表的資料，確認星星的身分和位置，正確的話，則由剖析影像的儀器 (Image dissector) 分析出剖面圖，再將所有資料傳回地面的資料中心作為背景資訊。倘若測得的星星和星表比對後發現目標錯誤，就會即時的調整衛星。

第一個視野掃完的 20 分鐘後，同一顆星會進入第二個視野，但是這時候主要不是記下這顆星的亮度資訊，而是要知道它的位置並和視野中的所有恆星比對位置。

繞了天球上一個大圓的區帶，衛星的轉軸會以和太陽方向夾 43 度的角度改變指向再重複一次，掃過另一個大圓區域，持續的進行，得以連續定義出每顆星的相對位置，用每秒鐘 24 kbit 的速度傳回地面。儘管轉軸方向改變了，天空中相鄰的區域仍會有重複觀測，讓每一個區域都能滴水不漏的觀測到，也因為每一個帶狀區域中的恆星、每一個區帶和區帶間的所有恆星都要互相比對位置，所以一起處理完成星表共花了三年多。

[註]：角秒換算成一般的度 $180^\circ = 648000$ 角秒，所以 1 角秒 = 0.0002778°。

這個計劃升空的任務分成兩個：依巴羅斯任務和第谷任務。升空後出版的星表也以此作為命名，兩任務的重心有一些不同，挑選目標星時也有點不同。

從上面的表可以清楚地看到，依巴羅斯任務測量的精準度達 0.001 角秒，和第谷的 0.025 角秒比起來精確很多，這是因為依巴羅斯任務重點是精確的定出 118218 顆星的亮度和位置，也就是說，這些由各種不同天文領域所挑選出的變星、雙星、電波星、X 光星..等的目標星所測出的值必須非常的精確，有助於了解星體動力、星系動力、恆星物理、宇宙距離和星際介質的特性。它的任務成就主要在恆星三角視差、變星亮度以及雙星系統中各星的位置。除了修正了原先的觀測資料之外，這個任務也有新發現：它的觀測中確認為變星或可能是變星的共有 11597 顆，其中 8237 顆是新發現的，另外還發現了 2996 個新的雙星系統。

在依巴羅斯衛星升空之前，天體的位置和亮度主要由地面上的望遠鏡和干涉陣列觀測，但是受到大氣擾動的影響，觀測上的精確度一般只能到達 0.01 角秒。在亮度的觀測上，大多數的觀測都沒有辦法準確到 0.01 星等以下，較暗的星體也沒辦法觀測到，如果很遙遠又非常接近的雙星就完全分不出來，所以才會在解析的能力變好之後，又發現很多新的雙星。

和依巴羅斯比起來，第谷任務的目標星就多太多了。第谷任務主要是定出這一百多萬顆星的位置跟亮度。一方面對主目標的資料作對照，另一方面要測出星體的 B 和 V

星等：B 的極限星等到 12.2 等，V 的極限星等在 11.5 等(註一)。這兩個任務中的恆星當然是有重複的，但也不是依巴羅斯任務中的恆星全部涵蓋在第谷任務裡面，我們可以用圖一來看：第谷和依巴羅斯兩個星表中重複的恆星只有 117130 顆，另外有 934907 顆星只在第谷星表有，6301 顆星只有依巴羅斯觀測到，但放入表中的只有 2667 顆，在第谷星表沒有這兩千多顆星是因為太暗了看不到，其他是在某些原因下沒有取得資料的。所以第谷星表包含了依巴羅斯百分之九十九的恆星，而非是原先預定的完全涵蓋。

依巴羅斯計劃在測距離上很有貢獻。測距離時最常被使用的是造父型變星，由它的光變曲線定出光度變化週期以後，可以決定它本身的真正亮度，進而推算出它的距離，早在 1920 年代就有人用它來估計宇宙的距離和年齡。哈伯太空望遠鏡升空，觀測 M100 的時候，發現 M100 測出的距離換算成時間，卻比原本大霹靂學說和恆星演化估計的宇宙年齡老，跌碎滿地天文學家的眼鏡，一直到依巴羅斯天文測量衛星升空之後，更精確的測出造父變星的距離，才解決了問題。

除了改良以往的觀測數據之外，到底還有什麼貢獻呢？目前可以從 ADS (The NASA Astrophysics Data System) 網站上搜尋到以依巴羅斯計劃作研究而發表的文章到 2001 年為止已經有兩千四百多篇，另外只在學術期刊上發表的相關論文有一千多篇。ADS 網站是美國太空暨航空總署提供的一個資料庫，提供的連結範圍包括天文及天文物理、行星科學、太陽物理、儀器使用、物理及地球物

理 等種類，可以查詢到相關的期刊和論文的摘要，並且連結到該期刊的網站，如果有訂閱那個期刊的話，就可以直接閱讀電子期刊的所有內容，也就是大部分的發表文章幾乎都可以查詢到摘要資料，所以可以確信至少有登錄的關於依巴羅斯之研究資料已經有兩千多篇。

舉幾個例子來說：使用依巴羅斯 - 第谷星表的自行、徑向速度與視差，德國和荷蘭天文學者得到銀暈中金屬豐度比較低的恆星有百分之十是同一個結構的，但在銀河系形成時被分了開來。而更具震撼的是天文學家由依巴羅斯星表的資料修正 HD 209458(依巴羅斯編號 HIP 108859)的距離到 153 光年，從它的運動算出是一個行星系統，並找出最大那顆行星周期應該是 3.52474 天，尋找太陽系外行星系統又掀起一股熱潮。(註二)

依巴羅斯天文測量衛星的貢獻每每都是先對天文學界來個大震盪，冠上個『一定是依巴羅斯測錯』的罪名，爭論不休後才被承認，例如「宇宙有多老」這種問題就是。有一派天文學家藉由地面觀測資料，找出位在金牛座的昴宿星團的距離以及星團裡面的恆星光度、亮度與質量的關係，試圖從這些資料了解我們的宇宙以及恆星演化、恆星年齡這一類的訊息。當依巴羅斯資料出來以後，昴宿星團距離比原先測定的數值近了百分之十，亮度暗了百分之二十！這麼大的差距，對原先建立的理論簡直是大地震。在許多相信與不相信的爭論中，理論要不要修正、怎麼修正，勢必又要討論很久了。

我們也試著用依巴羅斯的資料做銀河的

動力和結構的關係。圖二是從依巴羅斯星表找出相對誤差在百分之二十以內的恆星，並搜尋第谷星表中的 B 和 V 的資料所繪出的星色-星等圖。圖三是相對誤差在百分之二十以內的恆星和太陽的距離關係。這兩張圖可以看出太陽附近恆星的分佈情況和恆星的演化。

圖四和圖五是由國立台灣師範大學地球科學系王浩全所發表的畢業論文取出的圖；圖六是來自國立台灣師範大學地球科學研究所溫杰勳碩士論文。從這張圖可以看見圖中有一個明顯斜交的星體分佈帶，成因應該和最初銀河系盤面恆星形成機制相異，藉此得知恆星分布情形和銀河系動力的資訊。

從依巴羅斯計劃之後，緊接著還有幾個計劃陸續接上來，大致如右表：

- (1) 雙干涉可見光天文測量衛星 (DIVA - Double Interferometer for Visual Astrometry)：本計劃隸屬於歐洲太空總署。位置精確度 0.00015 角秒、自行的精確度 0.00025 角秒、三角視差精確度 0.0002 角秒，都比依巴羅斯天文測量衛星精確，提供天文物理和宇宙學研究，目標恆星包含不同光譜型的恆星、大質量和小質量恆星、年老的星族二次矮星、銀河系年輕盤面的星、變星和雙星。(可參考 <http://www.aip.de/groups/DIVA/>)
- (2) 全天空天文測量繪圖探測號 (FAME- Full-sky Astrometric Mapping Explorer)：由美國海軍天文台和美國太空暨航空總署合作，測量銀河系附近四千萬顆星的位置、運動及距離，預計西元 2004 年昇空後執

計劃名稱	目標	發射時間	目標星數目	V 極限星等	位置精確度 (角秒)
Hipparcos	1. 自行 2. 三角視差 3. 恆星位置	1989	1.2×10^5	12	0.001
DIVA	1. 自行 2. 三角視差 3. 恆星位置 4. 星等 5. 顏色	2003	3.5×10^7	15	0.0002
					0.005
FAME	1. 位置 2. 運動 3. 距離	2004	4×10^7	15	0.00005
					0.0003
SIM	1. 位置 2. 距離	2006	10000	20	0.000003
GAIA	1. 位置 2. 三角視差	2012	$>10^9$	20	0.000003
					0.00001
					0.000

(表格修改自 <http://www.eso.org/~abrown/space-astrometry.html>)

行任務五年。(<http://aa.usno.navy.mil/FAME/>)

(3) 太空干涉計劃 (SIM-Space Interferometry Mission) : 屬於美國太空暨航空總署之計劃, 預計 2009 年昇空。利用光學干涉原理測得恆星距離和位置, 預計要定義出所有恆星的資料幾百次, 比依巴羅斯的八十次精確, 希望可以找到和地球相似的行星。(<http://sim.jpl.nasa.gov/whatis/index.html>)

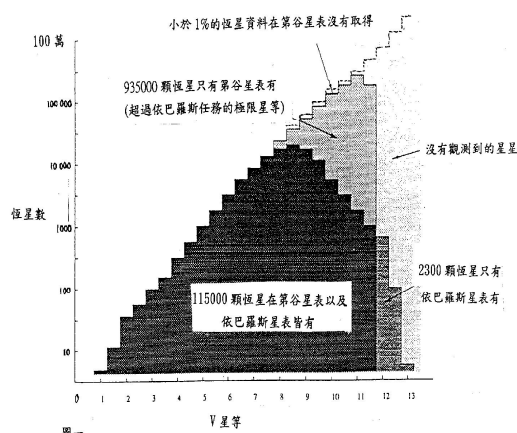
(4) 天文物理全星空天文測量干涉 (GAIA-Globale Astrometric Interferometer for Astrophysics) : 屬於歐洲太空總署之計劃, 建立在依巴羅斯計劃的結果之上。目的在測出恆星更精確的位置、運動, 得到恆星演化的資訊、銀河系的起源以及演化歷史、結構 等, 用來建立銀河系本身及銀河系以外超過一百萬顆星的精確三度空間星圖。(<http://astro.estec.esa.nl/GAIA/>)

從這些計劃中不難發現, 我們正在一步一步的往更精準的宇宙邁進, 而依巴羅斯計

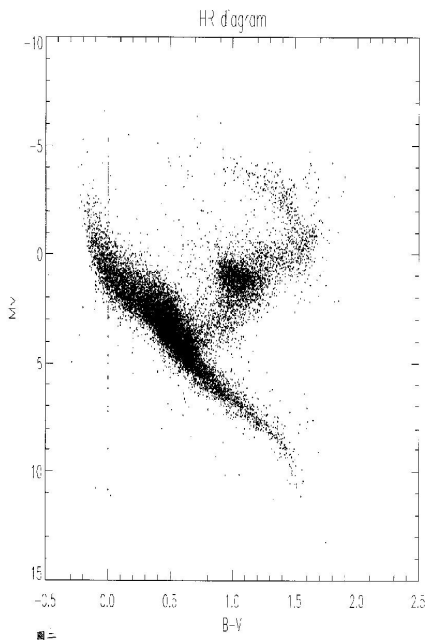
劃所開啟的這扇窗, 也展現了不同領域的天文學者進一步研究的路。我們期待對於這個未知的宇宙和世界, 有更多過去、現在與未來的認識。

註一: B 和 V 使用的是 Johnson B 和 Johnson V 的定義。使用 B 和 V 的濾鏡做不同波段的觀測。

註二: 相觀查詢資料可以在歐洲天文總署的網頁中找到。

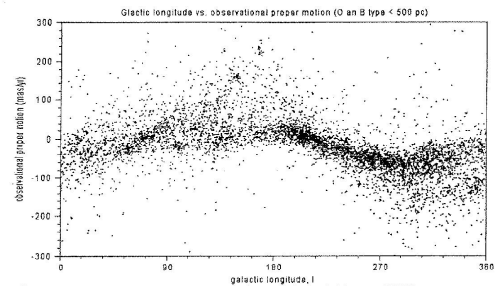
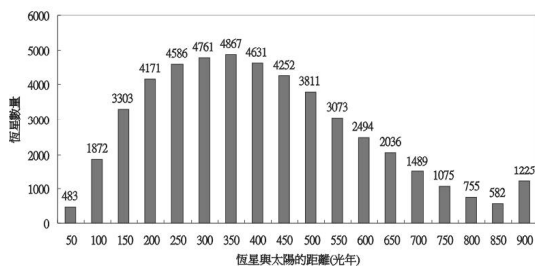


圖一 (本表修改自依巴羅斯及第谷星表第一冊-歐洲天文總署)

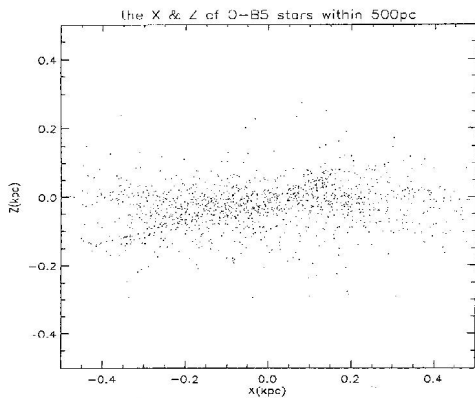
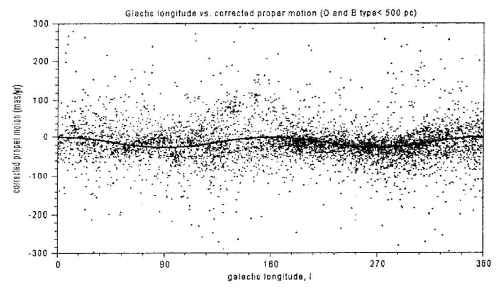


圖二

圖三：太陽附近相對誤差小於20%的恆星數量與距離關係圖



圖四：6069顆距離在500 pc內之O型與B型恆星，其銀經 l 與自行 $\mu_{l,m}$ 的關係。縱座標限制在 -300 mas/yr 到 300 mas/yr 的範圍。



圖六：挑選之O-B5星在500pc內的X-Z分布圖

參考資料：

1. 傅學海等著，星星的故事，新新聞文化事業股份有限公司，2000年1月27日初版
2. The Hipparcos and Tycho Catalogues Vol 1, 2, 17, ESA Publications Division, June 1997
3. 王浩全，國立台灣師範大學地球科學系大學畢業論文 - 依據 Hipparcos 星表探討銀河系之運動模式，June 1999

4. 溫杰勳，國立台灣師範大學地球科學系研究所碩士論文 - 古德帶是否為環狀構造，Oct 2000
5. http://astro.estec.esa.nl/SA-general/Projects/Hipparcos/further_more.html
6. <http://www.eso.org/~abrown/space-astrometry.html>
7. <http://adswwww.harvard.edu/>